

УДК 624.15

О. В. Войцеховський¹
 І. В. Маєвська¹
 І. Р. Сазонова²
 І. В. Ковальчук³

МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ СИСТЕМИ ОСНОВА–ФУНДАМЕНТ–СПОРУДА ЗА ПІДСИЛЕННЯ СТОВПЧАСТИХ ФУНДАМЕНТІВ СУЦІЛЬНОЮ ФУНДАМЕНТНОЮ ПЛИТОЮ

¹Вінницький національний технічний університет;

²ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», Київ;

³ТОВ «Гервін проект», Вінниця

Проаналізовано вплив піддатливості основи та просторової жорсткості надфундаментних конструкцій на перерозподіл навантажень між фундаментами виробничої три- чотириповерхової будівлі з каркасною конструктивною схемою, який дозволяє оцінити коректність підсилення фундаментів підведенням суцільної фундаментної плити в рівні підлоги першого поверху. Підсилення викликане збільшенням навантаження під час реконструкції.

Ключові слова: піддатлива основа, фундаменти, перерозподіл навантажень, жорсткість.

Вступ

Під час реконструкції адміністративно-виробничого корпусу Жмеринської хуторної фабрики підприємство з вирощування креветок з технологічних потреб значно збільшилося навантаження на перекриття, оскільки на кожному поверсі встановлено технологічні ємності з водою об'ємом до 60 м³. Будівля фабрики має залізобетонний збірний каркас та перекриття зі збірних залізобетонних плит. Об'єкт складається з двох конструктивних блоків: чотири- та триповерхового.

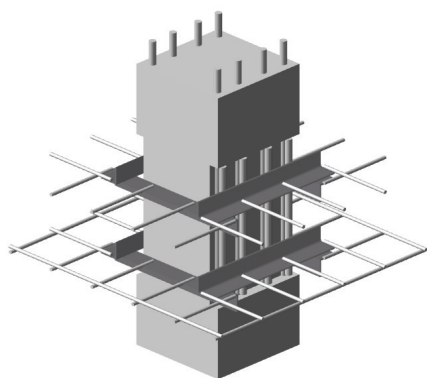


Рис. 1. Конструктивне рішення вузла з'єднання існуючої колони з плитою підсилення

Під колони існуючої будівлі влаштовані монолітні стовпчасті фундаменти стаканного типу з різною глибиною закладання та різними розмірами. Розміри підшви та конструктивне рішення фундаментів встановлені шляхом відкопування дослідних шурфів. Попередні перевіірочні розрахунки показали, що фундаменти потребують підсилення. Найраціональнішим варіантом підсилення фундаментів в заданих умовах є влаштування додаткової фундаментної плити безпосередньо по підлозі першого поверху із забезпеченням жорсткого з'єднання існуючих колон з фундаментною плитою. На об'єкті на момент реконструкції ще не встановлене нове устаткування і приміщення першого поверху не мають внутрішніх стін, які б заважали проведенню робіт. На рис. 1 показано конструктивне рішення вузла з'єднання існуючої колони з плитою підсилення.

З проектної практики відомо, що підведення фундаментних плит підсилення в рівні підлоги є дуже привабливим варіантом у порівнянні з підведенням нових фундаментів в рівні підшви існуючих, оскільки потребує мінімальних витрат. Але також

відомо, що при спіранні плити через підлогу на ґрунт зворотної засипки можуть виникнути проблеми з включенням цього ґрунту в роботу. Є приклади, коли підведення плити в рівні підлоги не приводило до ефекту підсилення [1].

Конструкція будівлі в роботі перерозподіляє навантаження і на піддатливій основі виникає перерозподіл зусиль між елементами каркасу та в самій фундаментній плиті [2]. В сучасних умовах, коли проектувальники, виходячи з економії матеріалів, прагнуть вести проектування з мінімальними запасами міцності, необхідний просторовий сумісний розрахунок системи основа–фундамент–споруда з урахуванням всіх негативних факторів.

Мета досліджень — за допомогою програмного комплексу Ліра-САПР 2014 виконати моделювання напружено-деформованого стану системи в умовах різних варіантів поведінки основи та оцінити коректність та надійність запропонованого варіанту підсилення.

Результати дослідження

У зв'язку з невитриманістю шарів ґрунту за потужністю та простяганням, виклинуванням ґрунтів та різною глибиною закладання фундаментів, під різними фундаментами будівлі розміщені різні за характером і фізико-механічними характеристиками ґрунтові нашарування (для прикладу на рис. 2 наведений один з геологічних розрізів по будівлі).

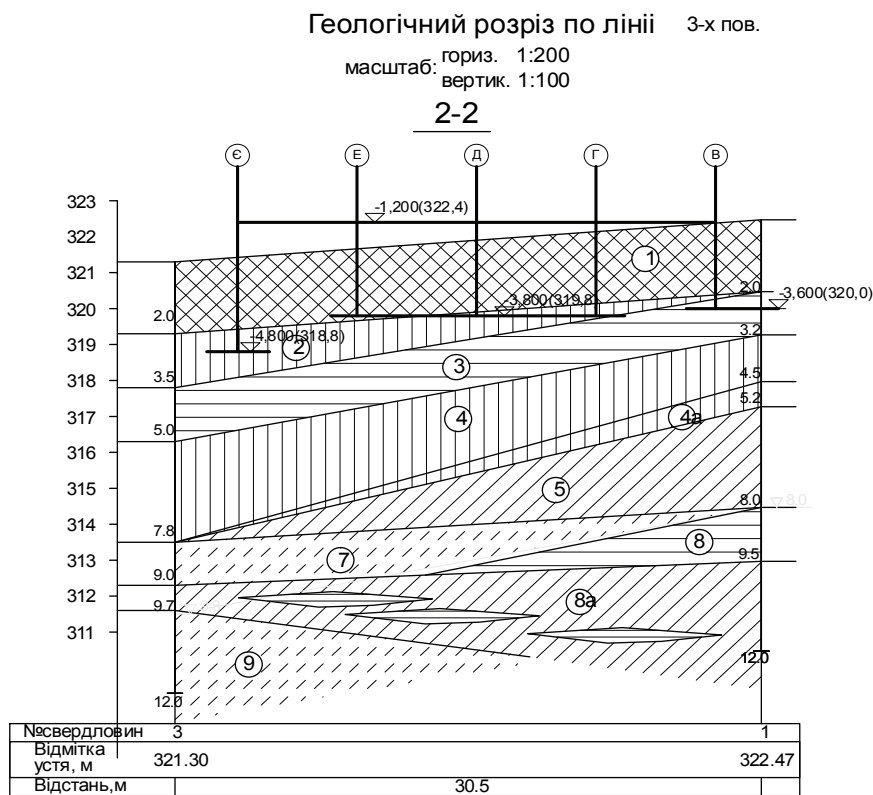


Рис. 2. Геологічний розріз 2—2 і положення підшови фундаментів триповерхового блока

За результатами інженерно-геологічних досліджень ґрунтів в свердловинах та шурфах можна зробити такі висновки:

— під підшовою фундаментів більшої частини будівлі залягають ґрунти ІГЕ 3 (глина тверда: $\gamma_{II} = 17,6 \text{ кН/м}^3$; $c_{II} = 18 \text{ кПа}$; $\varphi_{II} = 16^\circ$; $I_{L,sat} = 0,45$; $E = 8 \text{ МПа}$), що є непоганою основою, але по осі Є в осях 1—7 та в осях 14—19, Г—Є під підшовою виклинується шар ґрунту ІГЕ 2 (суглинок напівтвердий просідний: $\gamma_{II} = 16,9 \text{ кН/м}^3$; $c_{II} = 14 \text{ кПа}$; $\varphi_{II} = 13^\circ$; $I_{L,sat} > 1$; $E = 7 \text{ МПа}$) потужністю від 0,5 до 1,5 м, що є слабким ґрунтом, схильним до просідання при замочуванні.

— на глибині від 1,0 до 3,0 під підшовою фундаментів будівлі виклинується ґрунт ІГЕ 4 та 4а (суглинок твердий просідний: $\gamma_{II} = 17,4 \text{ кН/м}^3$; $c_{II} = 15 \text{ кПа}$; $\varphi_{II} = 15^\circ$; $I_{L,sat} = 0,85$; $E = 7 \text{ МПа}$), який має в межах плями будівлі змінну потужність і неоднакову глибину залягання,

— рівень ґрунтових вод на момент обстеження знаходиться на глибині від 6,0 до 9,0 м;

— механічні властивості ґрунтів під підшовою фундаментів чутливі до зміни вологості, при во-

донасичуванні як характеристики міцності, так і характеристики деформативності суттєво погіршуються;

— залягання шарів ґрунтової основи має значну неоднорідність як в плані, так і по глибині. На рис. 3 та 4 наведено розміщення несприятливих зон роботи фундаментів в плані під конструктивними блоками будівлі.

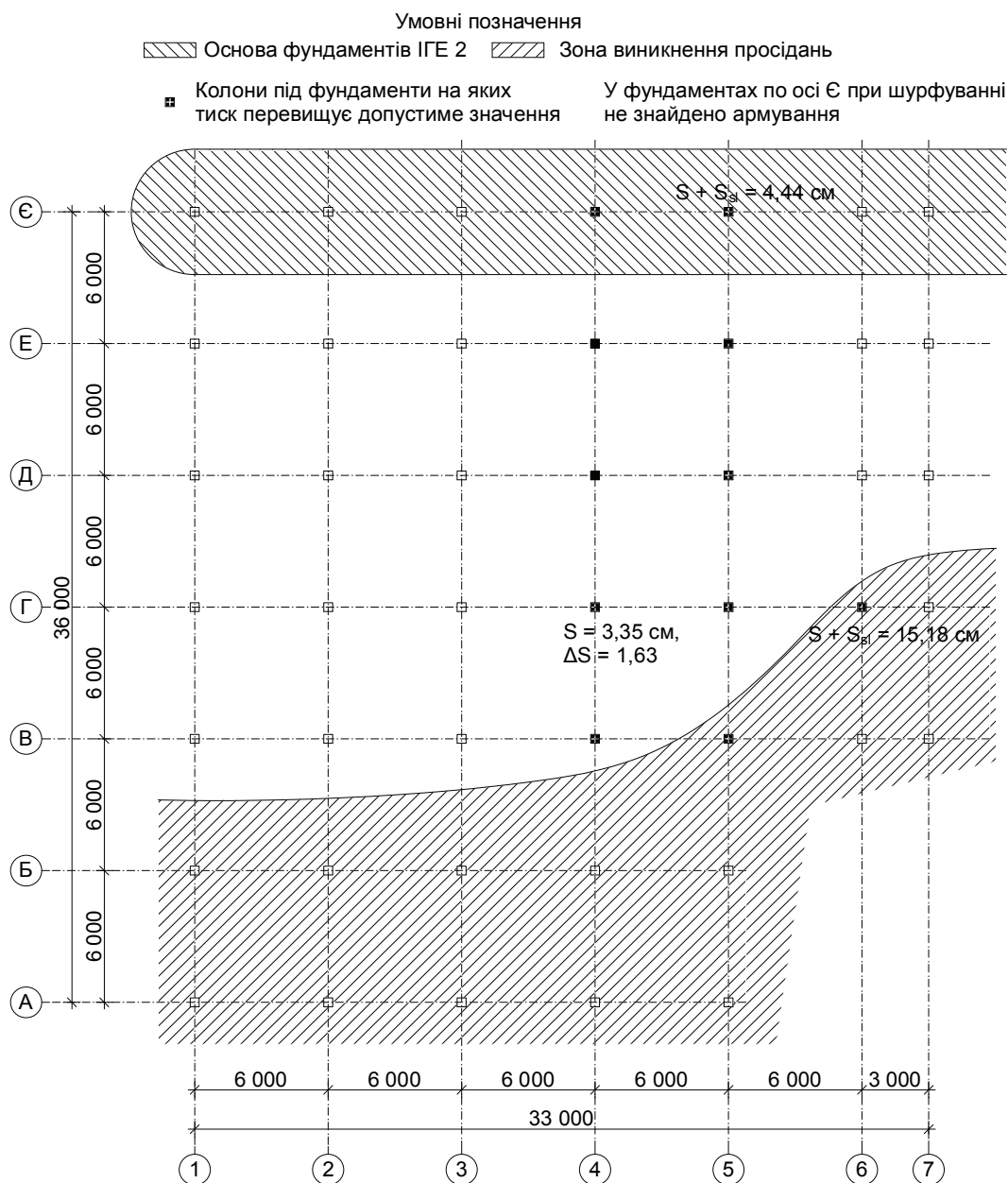


Рис. 3. Розміщення несприятливих зон роботи фундаментів під колонами чотириповерхового блока

Початкова перевірка розмірів підшви основних фундаментів показала, що до реконструкції розміри підшви фундаментів переважно задовольняли граничні нерівності другої та першої групи граничних станів, а після реконструкції збільшення навантажень потребує збільшення розмірів підшви, а для окремих фундаментів і збільшення армування. Найкращим варіантом підсилення фундаментів існуючої будівлі в заданих умовах виявилось влаштування суцільної фундаментної плити під всією площею чотири- та триповерхового блоків, що забезпечить:

- зменшення тиску на ґрунти основи до допустимих значень;
- створення жорсткої горизонтальної діафрагми, що буде сприяти перерозподілу різних навантажень від колон і зменшенню нерівномірності осідань;
- фундаментна плита захистить ґрунти основи від аварійних технологічних замочувань.

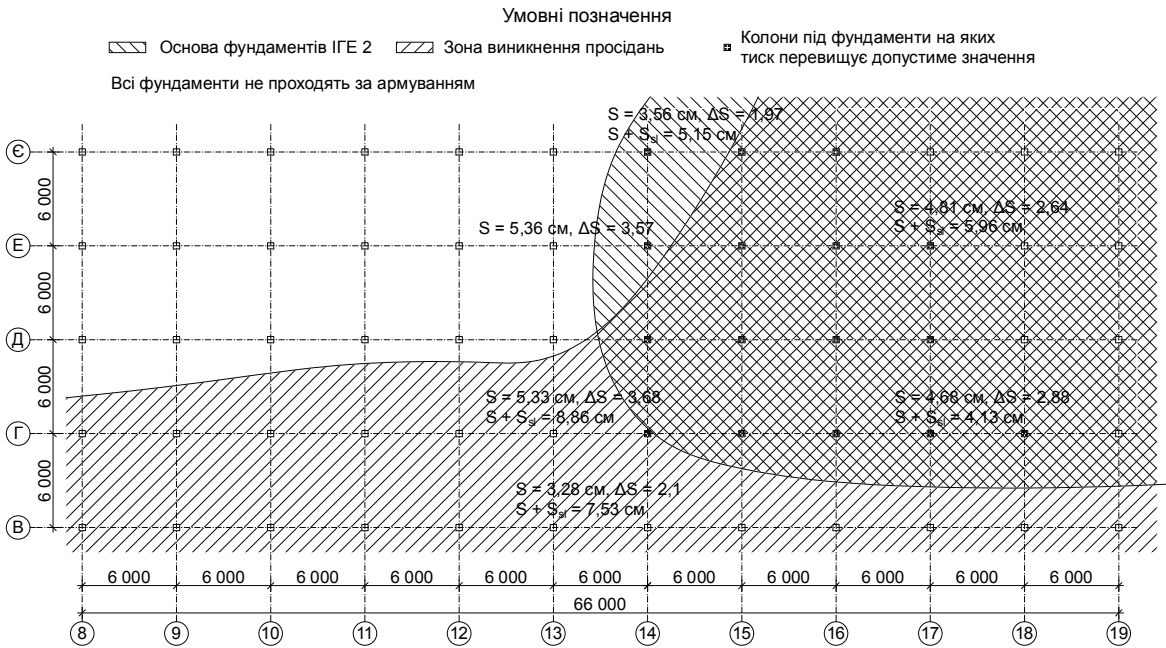


Рис. 4. Розміщення несприятливих зон роботи фундаментів під колонами триповерхового блока

Для повного аналізу роботи фундаментів під навантаженням після реконструкції виконаний просторовий розрахунок каркасу будівлі, який дозволив визначити навантаження на кожний з фундаментів з урахуванням перерозподілу, спричиненого жорсткістю елементів надфундаментних конструкцій і піддатливості основи.

Розрахунок тривимірної комп'ютерної моделі виконаний за допомогою програмного комплексу Ліра-САПР 2014, що є комп'ютерною системою для структурного аналізу та проектування. ПК Ліра-САПР призначений для числових досліджень на ЕОМ міцності і жорсткості широкого класу конструкцій. Розрахунок виконується на статичні навантаження. Статичні навантаження моделюють силові впливи від зосереджених чи розподілених сил та моментів і переміщень окремих областей конструкцій.

В результаті аналізу конструктивної схеми будівлі розроблено дві тривимірні комп'ютерні моделі: чотириповерхова адміністративна частина; триповерхова виробнича частина (див. рис. 5 та 6).

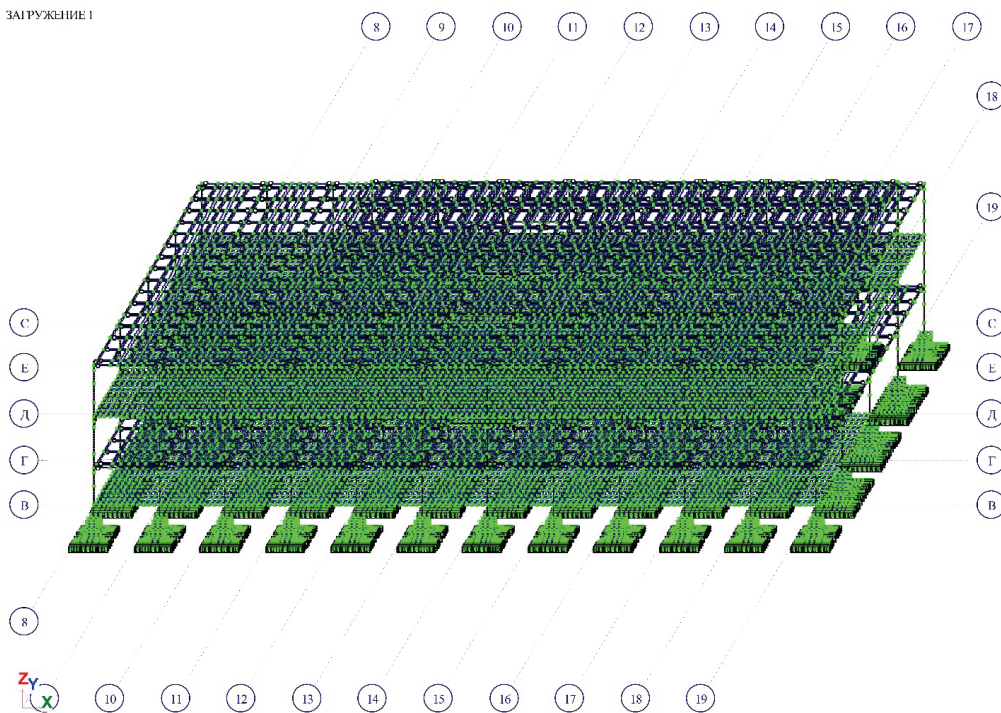


Рис. 5. Просторова модель триповерхового блока після підведення фундаментної плити в рівні підлоги

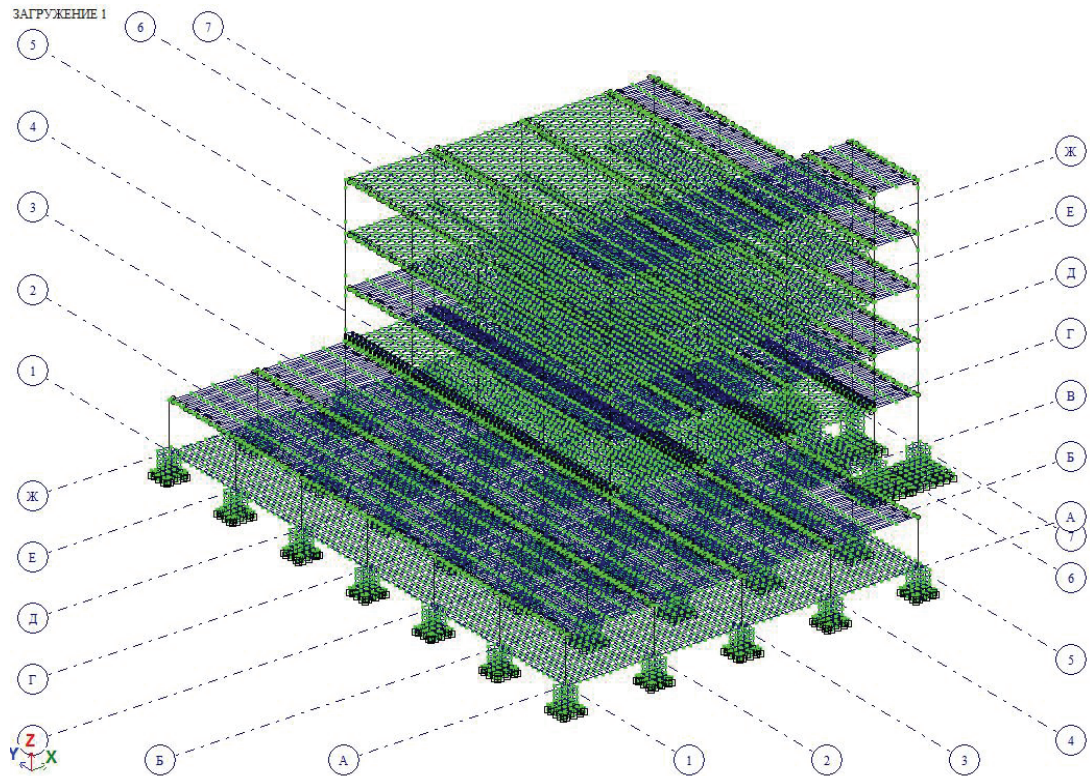


Рис. 6. Просторова модель чотириповерхового блока після підведення фундаментної плити в рівні підлоги

Колони та ригелі описані стрижнями загального виду (універсальний стрижень). Для моделювання діафрагм, плит перекриття і покриття використовувались універсальні елементи оболонки. Фундаменти під колони моделювались просторовими скінченими елементами.

Для моделювання ґрунтового масиву використаний зв'язок програми Ліра-САПР та підпрограми комплексу «Ґрунт», що враховує характеристики ґрунтів за створеними «свердловинами», в яких задається потужність шарів.

При моделюванні піддатливості основи враховане локальне залягання під частиною фундаментів просідних ґрунтів, які у разі замочування основи спричиняють додаткові нерівномірні просідання.

Додатковим фактором, що може спричинити негативні наслідки при включенні в роботу плити підсилення, є нерівномірна щільність штучно створених ґрунтів зворотної засипки під підлогу. Відкопані під час обстеження шурфи показали таку нерівномірність, а свідчення будівельників, які приймали участь у будівництві об'єкта, говорять про відсутність ущільнення ґрунтів зворотної засипки у важкодоступних місцях поряд з колонами.

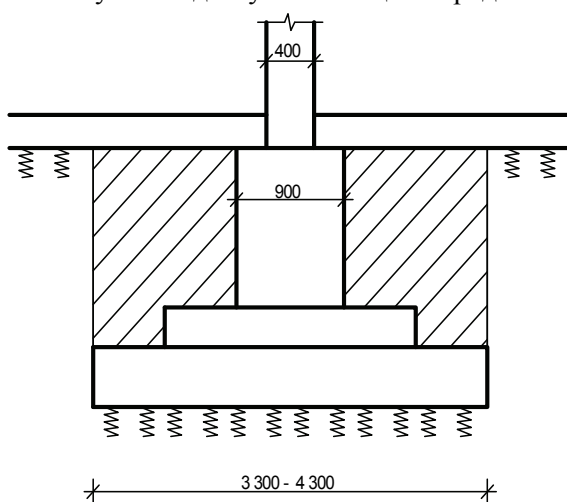


Рис. 7. Схема включення ґрунту в роботу навколо існуючих фундаментів

Для перевірки впливу властивостей ґрунту зворотної засипки під підлогу на перерозподіл зусиль у елементах каркасу будівлі і в тілі фундаментної плити при моделюванні основи розглянуто кілька варіантів деформативності цього ґрунту (задавався різний модуль деформації ґрунту зворотної засипки), а також варіант повної відсутності ґрунту під плитою навколо колон (рис. 7).

За результатами розрахунку аналізувався напружено-деформований стан фундаментної плити підсилення та елементів каркасу після підсилення (підсилювались ригелі та плити перекриття), а також зміна характеру армування фундаментної плити в залежності від ступеня деформативності ґрунту зворотної засипки під плитою, а також в випадку відсутності ґрунту під плитою навколо колони.

Аналіз результатів показав, що збільшення піддатливості ґрунту засипки під підведеною плитою призводить до більшої концентрації напружень в ній як під колонами, так і в прольоті між колонами, тобто збільшується нерівномірність розподілу внутрішніх зусиль.

Особливо чітко це простежується у порівнянні розподілу зусиль і потрібного армування плити в випадках моделювання повного контакту плити з ґрунтом і відсутності ґрунту під плитою навколо колон (див. рис. 7).

Збільшення внутрішніх зусиль на опорних і прольотних ділянках з врахуванням відсутності ґрунту під плитою в зоні розміщення колон відбувається на величину від 5 до 20 %, що в свою чергу приводить до збільшення потрібної площі додаткової арматури в верхній та нижній зонах плити, а також на певних ділянках потребує встановлення додаткової поперечної арматури навколо колон. На рис. 8, для прикладу, наведені порівняльні діаграми армування верхньої зони фундаментної плити з урахуванням ґрунту під плитою по всій площі та за відсутності ґрунту під плитою навколо колон. З діаграм видно, що у разі неврахування ґрунту під плитою навколо колон в верхній зоні плити збільшується потрібна інтенсивність армування.

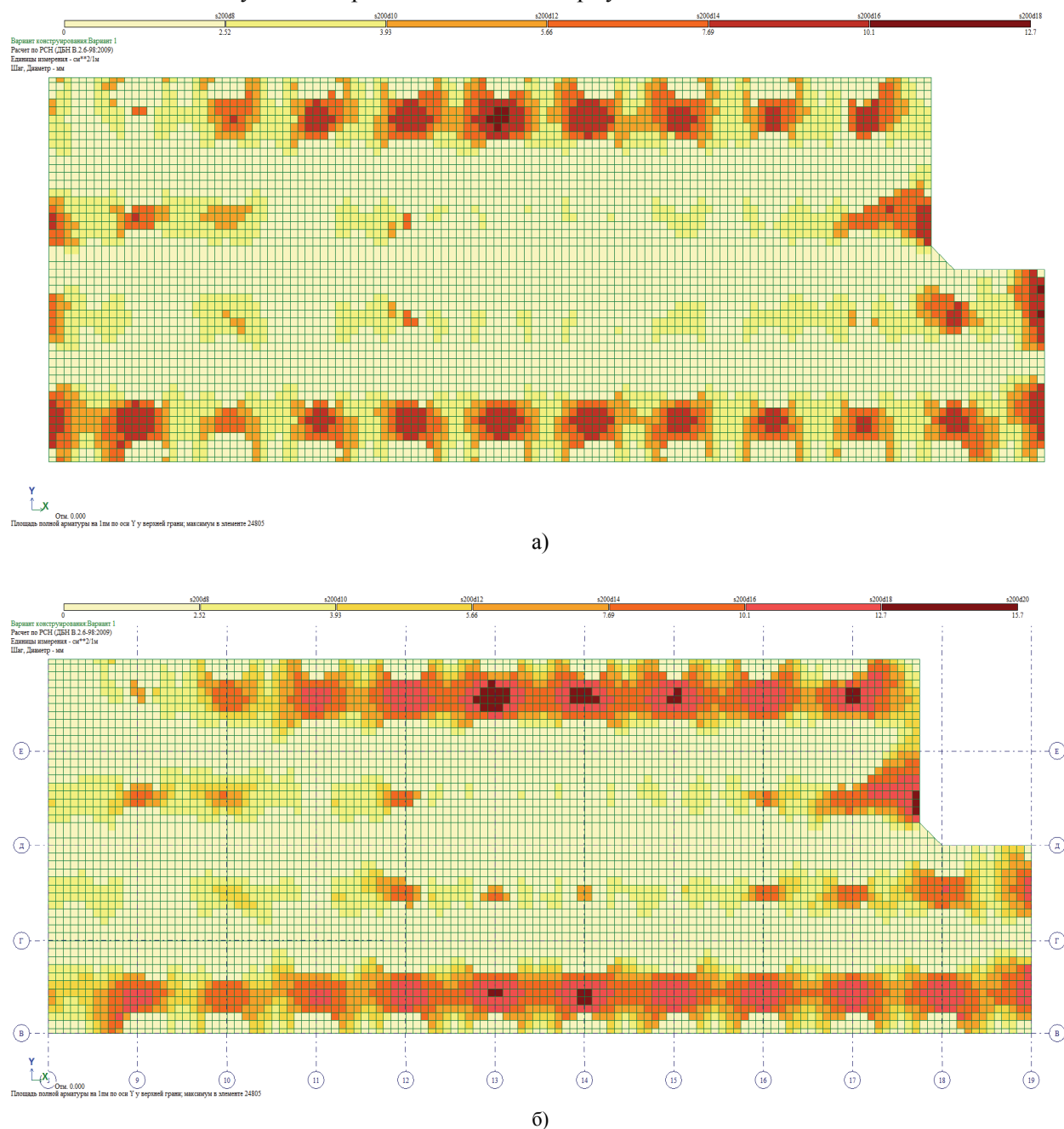


Рис. 8. Площа арматури по осі Y у верхній грані фундаментної плити триповерхового блока:
а — з урахуванням ґрунту під плитою по всій площі; б — за відсутності ґрунту під плитою навколо колон

Результати розрахунків дозволили проаналізувати напружено-деформований стан елементів будівлі після реконструкції і запропонувати конструктивне рішення фундаментної плити підсилення з оптимальними параметрами, що забезпечать надійність її роботи.

Слід зауважити, що включення у роботу ґрунту в зоні між подошвою плити, влаштованої в рівні підлоги, та верхнім обрізом плитної частини стовпчастого фундаменту мілкого закладання (див. рис. 7) може очікуватись дуже незначним або зовсім відсутнім навіть за нормальної якості ґрунту зворотної засипки, оскільки підведена плита і плитна частина існуючого фундаменту, зв'язані стрижнем колони, утворюють жорстку систему, що рухається з однаковою швидкістю. В результаті передача додаткового навантаження в зоні розміщення колони буде здійснюватись на ґрунт під подошвою існуючого фундаменту. Оскільки розрахунки показали, що неврахування при моделюванні ґрунту зворотної засипки під плитою підсилення в зоні розміщення колон приводить до перерозподілу зусиль і потреби у додатковій арматурі, то слід рекомендувати в розрахунках подібних систем виключати роботу ґрунту в зоні між плитою підсилення та плитною частиною існуючого фундаменту.

За результатами розрахунків розроблено проект підсилення фундаментів та надфундаментних конструкцій об'єкта, у процесі виконання робіт з підсилення та при подальшій експлуатації споруди планується проводити моніторинг.

Висновки

1. Підсилення фундаментів мілкого закладання зі значним збільшенням навантажень на колони під час реконструкції доцільно здійснювати шляхом підведення фундаментної плити в рівні підлоги першого поверху.

2. Розрахунок внутрішніх зусиль у плиті підсилення слід виконувати на підставі просторового моделювання системи споруда—фундамент—основа з урахуванням податливості основи.

3. Моделюючи основу, необхідно враховувати якість ґрунту зворотної засипки під підлогу шляхом варіювання характеристик щільності і деформативності цього ґрунту.

4. В розрахунках подібних систем слід виключати роботу ґрунту в зоні між плитою підсилення та плитною частиною існуючого фундаменту. Збільшення внутрішніх зусиль на опорних і прольотних ділянках з урахуванням відсутності ґрунту під плитою в зоні розміщення колон відбувається на величину від 5 до 20 %, що, в свою чергу, приводить до збільшення потрібної площі додаткової арматури в верхній та нижній зонах плити, а також на певних ділянках потребує встановлення додаткової поперечної арматури навколо колон.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Коновалов П. А. Основания и фундаменты реконструируемых зданий / П. А. Коновалов. — 4-е. изд., перераб. и доп. — М. : Стройиздат, 2000. — 308 с.
2. Маєвська І. В. Оптимізація плитних фундаментів за витратами матеріалів / І. В. Маєвська, Н. В. Блащук, Г. В. Маєвський // Основи та фундаменти : міжвідомчий науково-технічний збірник / К. : КНУБА. — 2015. — Вип. 37. — С. 352—362.
3. Основи та фундаменти будівель та споруд. Основні положення проектування : ДБН В.2.1-10-2009. — [Чинні від 2011-07-01]. — К. : Мінрегіонбуд України, 2011. — 55 с. — (Державні будівельні норми України).

Рекомендована кафедрою будівництва, міського господарства та архітектури ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 12.05.2017

Войцеховський Олександр Владиславович — канд. техн. наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури;

Маєвська Ірина Вікторівна — канд. техн. наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, e-mail: irina.mayevskaja@gmail.com .

Вінницький національний технічний університет, Вінниця;

Сазонова Ірина Ростиславівна — старший науковий співробітник відділу надійності конструкцій будівель і споруд.

Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», Київ;

Ковальчук Ігор Вікторович — старший науковий співробітник.

ТОВ «Гервін проект», Вінниця

O. V. Voitsehovsky¹
 I. V. Maievska¹
 I. R. Sazonova²
 I. V. Kovalchuk³

Modeling of the Stress-Strain State of the Base–Foundation–Construction System with the Strengthening of Existing Pillared Foundations with a Solid Foundation Plate

¹Vinnytsia National Technical University;

²SE «State Research Institute of Building Constructions», Kyiv;

³LLC «Gervin project», Vinnytsia

There has been made the analysis of the impact of compliance framework and spatial rigidity of upper fundament constructions to redistribute loads between foundations of 3-4-storey productive industrial building with frame design schemes which evaluate the correctness strengthen the foundations with solid foundation slabs in the floor level of the first floor. Strengthening caused an increase of pressure in time of reconstruction.

Keywords: pliable base, foundations, redistribution of loads, stiffness.

Voitsehovskiy Oleksandr V. — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor of the Chair of Construction, Urban and Architecture;

Maievska Iryna V. — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor of the Chair of Construction, Urban and Architecture, e-mail: irina.mayevskaja@gmail.com ;

Sazonova Iryna R. — Senior Researcher of the Department of Reliability of Structures of Buildings and Structures SE «State Scientific Research Institute of Building construction»;

Kovalchuk Igor V. — Senior Researcher

A. B. Войцеховский¹
 И. В. Маевская¹
 И. Р. Сазонова²
 И. В. Ковальчук³

Моделирование напряженно-деформированного состояния системы основание–фундамент–сооружение при усилении существующих столбчатых фундаментов сплошной фундаментной плитой

¹Винницкий национальный технический университет;

²ГП «Государственный научно-исследовательский институт строительных конструкций», Киев;

³ООО «Гервин проект», Винница

Выполнен анализ влияния податливости основания и пространственной жесткости надфундаментных конструкций на перераспределение нагрузок между фундаментами производственного трех- четырехэтажного здания с каркасной конструктивной схемой, который позволяет оценить корректность усиления фундаментов подведением сплошной фундаментной плиты в уровне пола первого этажа. Усиление обусловлено увеличением нагрузок при реконструкции.

Ключевые слова: податливое основание, фундаменты, перераспределение нагрузок, жесткость.

Войцеховский Александр Владиславович — канд. техн. наук, доцент кафедры строительства, городского хозяйства и архитектуры;

Маевская Ирина Викторовна — канд. техн. наук, доцент кафедры строительства, городского хозяйства и архитектуры, e-mail: irina.mayevskaja@gmail.com ;

Сазонова Ирина Ростиславовна — старший научный сотрудник отдела надежности конструкций зданий и сооружений;

Ковальчук Игорь Викторович — старший научный сотрудник